

1

Introdução

Os esportes tornaram-se nos últimos anos um grande negócio. Em uma economia globalizada, muitos países e cidades disputam pelos direitos de organizar os maiores eventos, como por exemplo os Jogos Olímpicos, que trazem consigo milhares de postos de trabalho e progresso econômico e social às suas sedes. Além disso, ligas esportivas profissionais envolvem milhões de espectadores motivando os grandes investimentos feitos atualmente em atletas, direitos de transmissão e publicidade.

Diferentes agentes desempenham importantes papéis nas ligas e torneios, como por exemplo, organizadores, mídia, jogadores, espectadores e agentes de segurança pública. As ligas profissionais são portanto parte de uma grande atividade econômica e enfrentam assim vários problemas de otimização desafiadores, tais como a maximização dos lucros e a otimização da logística. Por outro lado, ligas amadoras não envolvem em geral grandes investimentos, no entanto o número de torneios e competidores pode ser considerável, exigindo também esforços para sua organização.

A área de planejamento e gestão de atividades esportivas tem atraído a atenção de um número crescente de pesquisadores em diversas áreas multidisciplinares, como pesquisa operacional, matemática aplicada e teoria dos grafos. Várias técnicas de otimização têm sido aplicadas ao tratamento de problemas em esportes e a dificuldade de resolução destes problemas levou ao uso de um grande número de abordagens exatas e aproximadas, incluindo programação inteira, programação por lógica e restrições, metaheurísticas e métodos híbridos.

O problema geral de construção de tabelas de competições é certamente o mais estudado no campo de escalonamento em esportes. Este problema consiste em determinar em que rodada e local cada partida de uma competição será disputada. Encontram-se na literatura inúmeras aplicações em problemas reais dos mais variados esportes como futebol, beisebol, basquetebol, críquete e hóquei, entre outros. Alguns trabalhos envolvendo problemas de construção de tabelas são encontrados em (3, 15, 58, 65). Entretanto, outros problemas de escalonamento em esportes são também relevantes, como o problema de

atribuição de árbitros às partidas de uma competição, que envolve múltiplos objetivos (13). Um problema cuja resolução desperta um grande interesse por parte dos espectadores é a análise do desempenho de equipes em competições (64). Revisões da literatura sobre aplicações da otimização combinatória em esportes podem ser encontradas em (11, 12, 16, 51, 63, 67).

Embora as motivações apresentadas acima justifiquem por si próprias o estudo de problemas de escalonamento em esportes, estes problemas são particularmente interessantes, uma vez que a maioria das pessoas tem algum envolvimento com atividades esportivas. Um exemplo bastante ilustrativo é a importância das ligas esportivas amadoras. Na liga MOSA (Monmouth & Ocean Counties Soccer Association) em Nova Jersey, meninos e meninas com idades entre 8 e 18 anos são agrupados em até seis divisões por idade e sexo e com seis equipes por divisão, totalizando-se 396 jogos realizados todos os domingos. Estas partidas são arbitradas por centenas de árbitros certificados e envolvem a participação de milhares de pais, parentes e amigos, que se deslocam para os locais das partidas para acompanhar os atletas.

Como mencionado, um problema que surge no contexto da organização de competições esportivas consiste na determinação de quais árbitros atuarão em cada partida de um determinado torneio. Diversas regras devem ser observadas no processo de atribuição de árbitros, que em geral envolve vários objetivos. O Problema de Atribuição de Árbitros (PAA) já foi estudado em diversos contextos diferentes (10, 13, 14, 23, 24, 25, 48, 49, 74, 75). Torneios profissionais de tênis, uma competição internacional de estudos de casos e torneios de críquete no Reino Unido são exemplos de aplicações do PAA já estudadas e presentes na literatura. Uma revisão mais detalhada sobre o tema é apresentada no Capítulo 2.

Esta tese trata de um problema de atribuição de árbitros comum a várias ligas esportivas amadoras que ainda não havia sido estudado. Demonstra-se que sua versão de decisão é um problema NP-completo (32). Consideram-se inicialmente duas variantes mono-objetivo do PAA, que diferem uma da outra pela função objetivo adotada. Propõem-se modelos de programação linear inteira que permitem uma abordagem exata para a resolução de instâncias de pequeno e médio portes. Com o intuito de tratar instâncias de tamanho real, propõem-se também abordagens aproximadas de resolução baseadas na metaheurística *Iterated Local Search* (ILS) (50, 52, 53). Uma vez que o PAA tem origem em aplicações reais, ligadas a processos de tomada de decisões, é natural que envolva a consideração de diversos objetivos, muitas vezes em conflito (17). Tal fato motivou a investigação do uso de técnicas de otimização multi-critério que possam ser utilizadas na construção de um sistema de suporte a decisão e

aplicadas a uma variante bi-objetivo do PAA, que considera simultaneamente as duas funções objetivo tratadas nas variantes mono-objetivo estudadas. Abordagens de resolução exata e aproximada para esta variante bi-objetivo são propostas e seus resultados discutidos.

O próximo capítulo apresenta a descrição detalhada do PAA. Traz também uma breve revisão da literatura relacionada ao tema. Em seguida, demonstra-se que a versão de decisão do PAA é um problema NP-completo e propõe-se três formulações do PAA por programação linear inteira. São apresentados os resultados numéricos relativos à resolução de algumas instâncias teste, geradas artificialmente com base em padrões de aplicações reais, utilizando-se os modelos propostos e um resolvidor comercial de programação inteira.

No Capítulo 3, é proposta uma abordagem de resolução aproximada em três fases para o PAA. São apresentados três algoritmos construtivos, uma heurística reparadora, que atua quando a fase de construção não obtém uma solução viável, e heurísticas aprimorantes baseadas em ILS. Os resultados numéricos relativos à aplicação destas heurísticas às instâncias teste geradas artificialmente são apresentados e comparados com os resultados da resolução exata.

No Capítulo 4, são discutidas algumas variantes do problema básico formulado no Capítulo 2. Adaptações das heurísticas apresentadas no capítulo anterior são propostas para uma variante do PAA com outra função objetivo. São também apresentados os resultados numéricos da aplicação destes algoritmos na resolução de algumas das instâncias teste.

No capítulo 5, apresenta-se uma abordagem bi-objetivo para o PAA, considerando-se simultaneamente os dois objetivos tratados nos capítulos anteriores. Métodos exatos e aproximados para a construção das fronteiras de soluções eficientes (ou potencialmente eficientes) são propostos. Comparações dos resultados dessas abordagens são também discutidas.

Finalmente, o último capítulo traz as conclusões deste trabalho e discute algumas possíveis extensões.